

氏 名 かとう たかや  
**加藤 隆也**

学 位 の 種 類 博士（工学）

報 告 番 号 甲第 1598 号

学位授与の日付 平成 28 年 3 月 22 日

学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当（課程博士）

学 位 論 文 題 目

**放射性物質に汚染された焼却残渣の洗浄による埋立前処理及び焼却残渣中のセシウムの溶出特性に関する研究**

論文審査委員（主 査）	福岡大学	教授	樋口 壯太郎
（副 査）	福岡大学	教授	添田 政司
	福岡大学	教授	佐藤 研一
	北九州市立大学	教授	伊藤 洋

## 内 容 の 要 旨

### 1. 研究の目的と背景

平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災により、(株)東京電力福島第一原子力発電所に大きな被害が発生し、多量の放射性物質が大気中に放出された。放出された放射性物質により、放射性セシウムを含むごみが一般廃棄物の焼却施設に混入し、高濃度の焼却灰が発生している。

放射性セシウム濃度 8,000Bq/kg を超える廃棄物は指定廃棄物として環境大臣が指定を行い、国の責任において処理されることとなったため、直接埋立処分することができずにフレコンバックやドラム缶で保管されている。8,000Bq/kg を超え 100,000 Bq/kg 以下の焼却灰についてはガイドラインに従って従来の処分場に処分することは可能であるが、処分場周辺住民の同意や隔離層設置のために埋立処分容量が増加することから保管状態が継続している。この状況は長期化する可能性が高く、保管施設の作業者の健康や、周辺住民の不安を招いていることから、早期の適正処理を可能にする必要がある。

本研究は、指定廃棄物の多くを占める飛灰中のセシウムの水への溶解度が高いことに着目し、効率的な水洗浄により 8,000Bq/kg 以下に低減させ、従来の処分場への処分を進め、保管状況を解消することを目的とした。

### 2. 対象と方法

放射性セシウム（以下 Cs134、Cs137 と表す）で汚染された飛灰での実験は場所が限定されるため、まず、安定同位体である安定セシウム（以下 Cs133 と表す）を指標とし洗浄分離特性の基礎的な実験を行った。実験は K 市一般廃棄物焼却施設（ストーカー炉）から排出される飛灰を用い、洗浄による Cs133 の溶出特性を把握した。実験はビーカー試験とし、Cs133 の分析は ICP-MS 法（定量限界値 0.01mg/L）により実施した。実験は液固比の設定、洗浄回数、分級効果の確認、洗浄方法等について行った。その後福島県内で保管された指定廃棄物を使用した実験により Cs133 で設定した条件下で Cs134+Cs137 の洗浄効果について実験を行った。次に Cs133 を指標とし最終処分場からの浸出水への溶出特性等の基礎的な実験を行い、埋立方法の違いによる Cs133 の溶出制御等に関する確認実験を行った。実験は最終処分場の構造を模擬したライシメーター（高さ約 2 m φ 約 20 cm アクリル製）を使用し、日 1 回の人工散水により、浸出水を発生させ、Cs133、Cl<sup>-</sup>、COD、EC 等のモニタリングを行った。さらに浸出水中の Cs133、Cl<sup>-</sup>、EC の相関から近似式を導いた。次に福島県内で保管された指定廃棄物を使用した実験により溶出水中の Cs133 と Cs134+Cs137 の相関を求め、Cl<sup>-</sup>から Cs134+Cs137 の推定を行った。

### 3. 結果

Cs133 洗浄試験より、最も効率的な条件として、液固比 3~5 とした浸漬攪拌方式を見出した。Cs134、Cs137 においても Cs133 と同様な洗浄効果も確認し、焼却残渣の洗浄を行うことにより、安定的に Cs134+Cs137 を 8,000Bq/kg 以下にすることが可能であることが確認された。埋立方法の違いによる浸出水中の Cs 濃度のコントロールに関しては、未洗浄焼却残渣の場合、埋立層高を 1/2 にすることにより、溶出濃度を 6~28%、1/4 にすることで 32~49%低減化することが可能であると

確認された。同様に洗浄焼却残渣の場合においては、埋立層高 1/2 では低減化が確認されなかったが、埋立層高 1/4 では低減することが可能であることが確認された。また浸出水中の Cl- と Cs133 及び Cs134+Cs137 とには十分な相関があることが確認されたことから、対象とする焼却残渣を事前に検証し、近似式を導き出しておくことで、浸出水中の Cs134+Cs137 を推定するのに、Cl- を指標とすることができることを示した。Cl- は EC を測定することでその動向が把握できることから、事前に対象浸出水の Cl- と EC の相関を把握しておけば、浸出水を分析することなく、計器による測定で Cs134+Cs137 を推定することが可能である。

#### 4. 結論

これらの研究結果により、保管されている指定廃棄物を洗浄処理し、従来の処分を行うことで、現状の保管状態が保持している環境リスクを大幅に低減させることが可能である。加えて現状の処理方針に比較して、非常に大きな経済効果が得られる。また、浸出水中の Cs134+Cs137 を簡易に推定し、埋立高さのコントロールをすることにより、浸出水中の Cs134+Cs137 の低減化が可能になり、環境リスクを削減できることを確認した。

### 審査の結果の要旨

本論文は、平成 11 年 3 月の東北大震災に伴う津波により破壊された福島原発の影響により、福島県を中心に広範囲にわたり放射能に汚染された樹木や家屋等の焼却により焼却残渣中に含まれる高濃度の放射性物質の除染対策に関するものである。焼却残渣中の放射性セシウムは 8,000 ベクレル/kg を超えるものは指定廃棄物として中間貯蔵施設への保管が義務づけられている。しかし中間貯蔵施設の位置選定や建設に時間がかかる中、放置された放射能に汚染された焼却残渣による住民の健康リスクが懸念されている。このような背景下、本研究では水洗除染により放射性セシウムを 8,000 ベクレル/kg 以下にし、通常の最終処分場に埋立処分し、水側に移行させた放射性セシウムは吸着剤により分離することにより、保管量を最小に留め、健康リスク軽減を図ることを目的としている。本論文は以下の研究により構成されている。

- ・安定セシウムを用いた室内実験による洗浄分離特性に関する研究
- ・放射性セシウムを用いた洗浄分離特性確認研究
- ・安定セシウムを用いた大型実証実験による浸漬洗浄および脱水時におけるリンシング技術の開発
- ・埋立模擬槽（ライシメーター）による浸出水中の安定セシウムの溶出モニタリング
- ・福島県下における放射能に汚染された焼却残渣を用いたベンチスケール実験

上記により効率的な水洗方法として浸漬洗浄法および脱水時のリンシング技術の開発により、90%以上の水洗分離を可能とした。また除染した焼却残渣の安全性を高めるため処分場における溶出抑制方法および簡易モニタリング手法の開発を行い研究成果としてまとめた。研究にあたってはま

ず安定セシウムを用いて実験および実証を行った。次に安定セシウムと放射性セシウムの関連を確認したのち、福島県下で実際に汚染された焼却残渣を用いてベンチスケール実験を行った。

研究の社会的有用性については放射性セシウムの除染による地域環境の保全が挙げられる。学術的価値としては放射性セシウムが金属等と反応し、不溶化する前に水洗除染、特に浸漬洗浄により効率的なセシウムの分離が可能なことを実証により確認したこと、および放射性セシウムの分析には ICP-MAS を用いるが、塩化物イオンとの相関性が高いことから日常のモニタリングとして塩化物イオンや電気伝導率により簡単できることを見出した。また本研究は原発輸出国である韓国からも注目され、事故時の除染方法として国際的にも注目されている。申請者は審査において審査員の質問、指摘事項にも的確に回答および対応した。これらのことから本研究は学位論文に値するものと判断する。